

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 01-149032

(43)Date of publication of application : 12.06.1989

(51)Int.Cl.

G02F 1/35  
G02B 6/00

(21)Application number : 62-307703

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH CORP  
<NTT>

(22)Date of filing : 07.12.1987

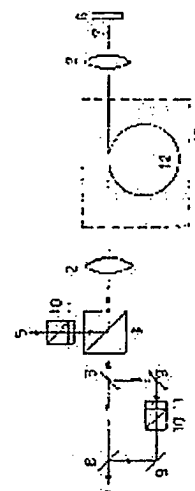
(72)Inventor : KITAYAMA KENICHI

## (54) METHOD AND DEVICE FOR OPTICAL PULSE GENERATION

## (57)Abstract:

PURPOSE: To always efficiently generate a short optical pulse with a desired repeat frequency by forming the optical pulse from the fluctuation of the intensity of a high output continuous oscillation laser light at the time of making this laser light incident on an optical fiber and continuously varying the repeat frequency of the optical pulse.

CONSTITUTION: The device is provided with a high output continuous oscillation laser 2 having an intensity fluctuation, an incident light source for incidence of a weak light 5 coinciding with the wavelength of a side band, a birefringence optical fiber 12 which induces modulation instability, a multiplexer 3 which multiplexes the laser light 2 and the incident light 5 to make the optical pulse incident, and a photodetector 6 which detects an optical pulse 7 in the exit end of the optical fiber. When the high output continuous oscillation laser light 2 is made incident on the optical fiber, the optical pulse is generated from the intensity fluctuation of the laser light by self-phase modulation due to the optical Kerr effect of the optical fiber and negative dispersion of the optical fiber and the repeat frequency of the optical pulse is continuously varied. Thus, a phase matching condition is always satisfied for the wavelength of the incident light and the optical pulse is generated with an arbitrary repeat frequency.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than

the examiner's decision of rejection or  
application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of  
rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's  
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

## ⑫ 公開特許公報(A) 平1-149032

⑤ Int.Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成1年(1989)6月12日

G 02 F 1/35

7348-2H

G 02 B 6/00

E-7370-2H

審査請求 未請求 発明の数 2 (全7頁)

⑭ 発明の名称 光パルス発生方法とその装置

⑮ 特 願 昭62-307703

⑯ 出 願 昭62(1987)12月7日

⑰ 発 明 者 北 山 研 一 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日本電信電話株式会社内

⑱ 出 願 人 日本電信電話株式会社 東京都千代田区内幸町1丁目1番6号

⑲ 代 理 人 弁理士 山川 政樹 外1名

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

光パルス発生方法とその装置

## 2. 特許請求の範囲

(1) 光ファイバ中で生じる非線形光学現象の一種である変調不安定性による強度ゆらぎのある高出力連続発振レーザ光を光ファイバに入射させたとき、光ファイバの光カー効果によって生じる自己位相変調と光ファイバの負の分散とによってレーザ光の強度ゆらぎから光パルスを形成する光パルス発生方法において、発生させる光パルスの繰り返し周波数を連続的に可変させることを特徴とする光パルス発生方法。

(2) 光パルスの繰り返し周波数は、光ファイバの複屈折を外部から応力を印加することによって変化させ、発生させるべき光パルスの繰り返し周波数に対応するレーザ波長に関する側波長の波長に一致したストークス光とアンチストークス光と前記レーザ光との間の誘導3波混合に対する位相整合条件を常に満足させることによって連続的に

可変される特許請求の範囲第1項記載の光パルス発生方法。

(3) 強度ゆらぎのある高出力連続発振レーザと、パルスの発生を促進するために光パルスの繰り返し周波数に対応する側波長の波長に一致した微弱光を注入する注入用光源と、前記変調不安定性を誘起する複屈折光ファイバと、レーザ光と注入光とを合波して光パルスを入射する合波器と、光ファイバ出射端において光パルスを検出する受光器とからなる光パルス発生装置。

## 3. 発明の詳細な説明

(産業上の利用分野)

本発明は繰り返し周波数がサブTHzと極めて高く、かつ、繰り返し周波数を広い周波数帯において任意に設定でき、パルス幅がピコオーダの短光パルスを発生させる方法とその装置に関するものである。

(従来の技術)

パルス幅の狭い、いわゆる短光パルスの発生技術としては、レーザにモードロックをかけて位相

同期を取る方法、半導体レーザに直接変調する方法等が広く用いられており、前者の方法によって色素レーザを用いて数10フェムト秒( $10^{-15}$ 秒)程度の短光パルスが得られている。しかしながらパルスの繰り返し周波数は、現状では半導体レーザを直接変調して得られる20GHzが限界であった。

次に変調不安定性を利用した高繰り返し周波数、短光パルスの発生方法について説明する。

第6図(a)に示すような比較的高強度の光パルスが光ファイバ中を伝搬する時、光ファイバの材料の持つ非線形光学効果の一種である光カー効果によって同図(b)に示すように光パルスの立ち上がり部分で周波数が低くなり、立ち下がり部分で周波数が高くなる、いわゆるチャープングを受け、この光パルスが色分散が負となる異常分散媒質を通過すると周波数の高いパルスの立ち下がり部分が立ち上がりの部分に追いつき、その結果パルスが同図(c)に示されるように時間軸上で圧縮されることが知られている。したがって強度

にゆらぎがある高出力の連続発振レーザ光が光ファイバ中を伝搬する時には次第にゆらぎが成長し短光パルスとなる。この場合のパルスの繰り返し周波数は、第7図に示されるように、光の周波数軸上での入射レーザ光の周波数に対する側波帯の周波数となり、光ファイバの非線形光学効果の一種である誘導3波混合(誘導4光子混合)の位相整合条件を満足する周波数として決定される。なお、この場合の3波とは入射レーザ光、側波帯に発生するストークス光、アンチストークス光であり、それぞれの波の周波数を $f_p, f_s, f_{as}$ とし、波長を $\lambda_p, \lambda_s, \lambda_{as}$ とすると、繰り返し周波数 $\Delta f$ とそれに対応するレーザ波長からの波長間隔 $\Delta \lambda$ との関係は次の(1)式で与えられる。なお、次式においてCは真空中の光速を表す。

$$\begin{aligned}\Delta f &= f_{as} - f_p = f_p - f_s \\ &= C(1/\lambda_{as} - 1/\lambda_p) \\ &= C(1/\lambda_p - 1/\lambda_s) \\ \Delta \lambda &= (\lambda_p \cdot \lambda_{as} / C) \Delta f \\ &= (\lambda_p \cdot \lambda_s / C) \Delta f \quad \dots (1)\end{aligned}$$

また、従来の方法ではストークス光の周波数に等しい微弱な光を光ファイバに注入し、誘導3波混合の位相整合条件を満足させることによって光パルスの形成を促進させる方法が取られている。

第8図は約1kmの光ファイバを用い、レーザ光波長1.318 $\mu$ m、注入光1.400 $\mu$ mの場合の実験結果である。同図よりパルスの時間間隔Tが3psであることから繰り返し周波数 $\Delta f$ が340GHzの短光パルスが得られていることが分かる。

第9図はその光パルス発生装置であり、光出力連続発振レーザ光1、レンズ2、合波器3、光ファイバ4、注入光5、受光器6から構成され、7は発生した光パルスである。

誘導3波混合の位相整合条件は次の式(2)に示すように光ファイバの材料分散、導波路分散、複屈折及び入射レーザ強度に依存する各位相項 $K_a, K_w, K_r, K_s$ の和が零となるとき成立する。ただし、 $K_t$ は位相不整合量の総和であり、 $\Delta \nu$ はストークス光、アンチストークス光の入射レーザ

光の周波数からのシフト量 $\Delta f$ を光速Cで規格化した規格化周波数差である。

$$\begin{aligned}K_t(\Delta \nu) &= K_a(\Delta \nu) + K_w(\Delta \nu) \\ &\quad + K_r(\Delta \nu) + K_s \\ \Delta \nu &= \Delta f / C \quad \dots (2)\end{aligned}$$

(発明が解決しようとする問題点)

しかしながら、従来は与えられたレーザ光および注入光の波長に対して(2)式の各位相項を何等かの方法で制御して $K_t$ を零とする方法がとられていなかったで、レーザ光と混合される注入光の波長が上記位相整合条件を満足しない場合には、光パルスの発生効率は当然劣化した。第10図は $K_t = 0$ の時の効率を1とした時の位相不整合量 $K_t$ に対する効率の理論値である。効率が0.5となる $K_t$ は0.12 $\text{cm}^{-1}$ であり、第8図の実験結果にこれを当てはめると注入光の波長が1.400 $\mu$ mから2.4nmずれたことに対応する。このことから注入光の波長の僅かなずれによって、発生する光パルスの効率が著しく減少することが理論的にも明らかである。

このため、実際には注入光の波長を掃引して発生する光パルスの効率が最大となる波長を選択する必要がある、繰り返し周波数を任意に設定することができないという問題があった。

つまり、従来は繰り返し周波数は実質的には固定された状態であり、特定の繰り返し周波数に対しては上記位相整合条件が満たされているものの、その他の所望の繰り返し周波数に対しては注入光の波長に対して必ずしも位相整合条件が満たされていなかったため、光パルスを発生できなかったり、発生する光パルスの変調度が十分ではなく短光パルスが得られなかったのが実情であった。

(問題点を解決するための手段)

本発明は上記問題点を解消するためになされたもので、光ファイバ中で生じる非線形光学現象の一種である変調不安定性による強度ゆらぎのある高出力連続発振レーザ光を光ファイバに入射させたとき、光ファイバの光カー効果によって生じる自己位相変調と光ファイバの負の分散とによってレーザ光の強度ゆらぎから光パルスを形成し、光

パルスの繰り返し周波数が連続的に可変されるようにしたものであり、また、強度ゆらぎのある高出力連続発振レーザと、側波帯の波長に一致した微弱光を注入する注入用光源と、変調不安定性を誘起する複屈折光ファイバと、レーザ光と注入光とを合波して光パルスを入射する合波器と、光ファイバ出射端において光パルスを検出する受光器とから構成したものである。

(作用)

位相不整合量の複屈折に依存する成分は可変される。

(実施例)

以下に本発明の具体的な実施例について図面を参照して説明する。

まず、パルスの繰り返し周波数を連続的に可変とするため、(2)式の位相項の値をアナログ的に変化させる方法について説明する。

(2)式の位相項のうち $K$ は光ファイバ材料とレーザ光源の波長に対して固定であり、 $K_0$ も導波路構造に依存する項であるため不変であり、

位相項 $K$ はレーザ光強度に依存するがその変化量は極めて小さく実質は半固定であると考えられる。したがってここでは複屈折に依存する項 $K$ に着目し、応力付与型複屈折ファイバを用いた例について述べる。複屈折ファイバはファイバ内の残留応力によってコアに引っ張りあるいは圧縮応力が印加され、ファイバ断面内の直交する2方向に屈折率差、即ち複屈折が生じているものである。したがって外部から応力を印加することによってこの複屈折を変化できることが実験的にも確認されている。

第2図は各種の応力印加方法を示しており、(a)は平板上にファイバを置き平板で加圧する方法、(b)はファイバを曲げる方法、(c)はファイバを恒温槽に入れ加熱する方法である。

第3図は第2図(a)および(b)の方法による複屈折の変化分(応力を印加しない場合の値との差) $\delta B$ の計算値であり、横軸は $x$ 、 $y$ 軸方向の印加応力 $W_x$ 、 $W_y$ および曲げ直径 $2R$ の逆数である。なお $x$ 、 $y$ 軸はそれぞれ複屈折光ファ

イバの結晶主軸の長軸、短軸である。ここでは例として複屈折ファイバを用いているが、通常のファイバにおいても応力を外部から印加した場合は同様に複屈折を生じる。

位相整合をとるためには光ファイバの結晶軸とレーザ光の偏光面との関係を規定する必要がある。以下に述べる2つの場合は、それぞれレーザ光の偏光面を複屈折ファイバの結晶主軸の長軸( $x$ 軸)あるいは短軸( $y$ 軸)のいずれか一方に沿って入射させた場合と、長軸および短軸の両軸に分けて入射する場合である。

第4図は光ファイバの基本導波モードである $LP_{01}$ の分布曲線を示す。同図(a)に示されるように縦軸は規格化伝搬定数 $b$ 、横軸は規格化周波数 $V$ である。複屈折ファイバでは第2図の(b)、(c)の拡大図に示すように $x$ 、 $y$ 軸に偏光した2つの基本モードである $LP_{01}$ 、 $LP_{01}$ モードの縮退が解けている。(b)図はレーザ光、ストークス光となる注入光、アンチストークス光の偏光方向をそれぞれ $y$ 、 $x$ 、 $x$ 軸に一致させた場合で

ある。このとき(2)式の $K_0$ は次式で与えられる。

$$K_0 = 4\pi B_0 / \lambda_0 \quad \dots (3)$$

なお、これら3波の偏光方向を $x$ ,  $y$ ,  $y$ 軸に設定しても後に説明するように位相整合条件は満たすことができる。また注入光はストークス光あるいはアンチストークス光のいずれの波長に合わせても良く、位相整合条件が満たされれば他方の光は誘導放出によって生じ偏光方向も自動的に定まる。

第4図(c)は、レーザ光を $x$ 偏光と $y$ 偏光とに分けて入射させ、ストークス光となる注入光、アンチストークス光の偏光方向をそれぞれ $y$ ,  $x$ 軸に一致させた場合である。なお、ストークス光とアンチストークス光との偏光面をそれぞれ $x$ ,  $y$ 軸に一致させた場合も位相整合条件を満たすことができる。このとき(2)式の $K_0$ は次式で与えられる。

$$K_0 = 2\pi B_0 \Delta\nu \quad \dots (4)$$

第5図には(2)式中の $K_0$ と $-(K_0 + K_1)$

をストークス光およびアンチストークス光とレーザ光波長の規格化周波数差 $\Delta\nu$ の関係を示している。ただし、レーザ光強度に依存する項 $K_1$ は他の項に比べて小さいので無視する。同図(a), (b)はそれぞれ第4図(b), (c)の場合に対応している。上記応力印加方法によって $K_0$ が図中の実線の矢印で示すように変化し、それによって両曲線の交点として与えられる位相整合条件を満足する $\Delta\nu$ が変化することがわかる。

実験的には(a)の方法で $W \approx 0.5 \text{ kg/cm}$ が実現されており、このとき $B_0 \approx 2 \times 10^{-5}$ である。(b), (c)の方法においても $R = 0.5 \text{ cm}$ で $B_0 \approx 2 \times 10^{-5}$ が達成されている。この変化分から第5図の方法で $\Delta\nu$ の可変範囲を見積もると、レーザ光波長が $1.3 \mu\text{m}$ 近傍では数 $1000 \text{ cm}^{-1}$ 程度と考えられる。これを光パルスの繰返し周波数に変換すると可変範囲は数 $10 \sim$ 数 $100 \text{ THz}$ と極めて広いことが分かる。

第1図は本光パルス発生方法を実現するための光パルス発生装置であり、光出力連続発振レーザ

光1, レンズ2, 合波器3, 注入光5, 受光器6, ハーフミラー8, ミラー9, 偏光板10,  $\lambda/2$ 板11, 複屈折ファイバ12, 応力付加装置13から構成され、7は発生した光パルスである。レーザ光はハーフミラー8で分波され、偏光板10で偏光面を調整した後、合波器3で注入光と合波され光ファイバに入力される。

このように本発明は光パルス発生法においてパルスの繰返し周波数を連続的に可変とするため、(2)式の位相項の値をアナログ的に変化させ、これによって $K_0(\Delta\nu) = 0$ となる $\Delta\nu$ 、すなわち発生する光パルスの繰返し周波数 $\Delta f (= C \cdot \Delta\nu)$ を連続的に変化させることを可能にした。つまり本発明によれば、所望の繰返し周波数 $\Delta f$ に対応した周波数 $f = (\Delta\lambda / C) \cdot f_0$  (波長では $\lambda_0 = \lambda_0 + C(\Delta\lambda / \lambda_0)$ )の微弱な光を注入して短光パルスを発生させようとする場合には、ファイバに応力を印加し複屈折を変えていくと位相整合がある応力値において満たすことができ、常に注入光の波長に対して位相

整合条件を満足させることによって、光パルスを任意の繰返し周波数で発生させることが可能である。

#### 〔発明の効果〕

以上説明したように本発明は、光ファイバ中で生じる非線形光学現象の一種である変調不安定性による強度ゆらぎのある高出力連続発振レーザ光を光ファイバに入射させたとき、光ファイバの光カー効果によって生じる自己位相変調と光ファイバの食の分散とによってレーザ光の強度ゆらぎから光パルスを形成し、光パルスの繰返し周波数が連続的に可変されるようにしたことにより、また、強度ゆらぎのある高出力連続発振レーザと、側波帯の波長に一致した微弱光を注入する注入用光源と、変調不安定性を誘起する複屈折光ファイバと、レーザ光と注入光とを合波して光パルスを入射する合波器と、光ファイバ出射端において光パルスを検出する受光器とから構成したことにより、変調不安定性を用いた高繰返し周波数および短光パルス発生法の欠点とされていた半固定繰

り返し周波数は、位相不整合量の複屈折に依存する成分が可変されるため、広い周波数帯にわたって連続的に可変され、また、所望の繰返し周波数で常に効率良く短光パルスが発生させることができるという効果を有する。

したがって、従来よりも1000倍程度速い超高速光通信用の光源、超高速の波形解析に利用する光サンプリング用光源等の分野での応用が考えられる。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の一実施例の構成を表す光パルス発生装置、第2図(a)、(b)、(c)は応力付加方法を説明するための斜視図、第3図は複屈折の変化分と印加応力、曲げ半径との関係を表すグラフ、第4図(a)、(b)、(c)は光ファイバの基本モードの分散曲線およびレーザ光、ストークス光、アンチストークス光のモード関係を表すグラフ、第5図(a)、(b)は位相量 $-(K_s + K_w)$ 、 $K_s$ と規格化周波数差との関係を表すグラフ、第6図(a)、(b)、(c)は

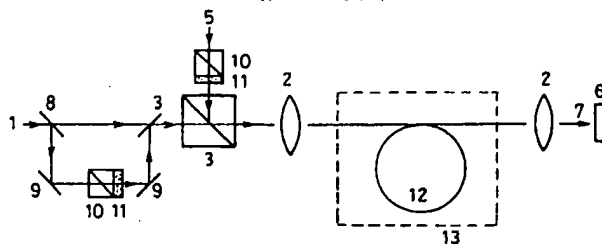
光パルスのチャージングと異常分散とによるパルスの圧縮を説明するためのグラフ、第7図(a)、(b)は誘導3波混合のレーザ光とストークス光およびアンチストークス光の周波数・波長の関係を表すタイミング図、発生するパルスを表すタイミング図、第8図は従来の位相不安定性を用いた光パルス発生の実験結果を示す波形図、第9図は従来の位相不安定性を用いた光パルス発生装置を表す構成図、第10図は発生効率と位相不整合量の関係を表すグラフである。

1・・・光出力連続発振レーザ光、2・・・レンズ、3・・・合波器、5・・・注入光、6・・・受光器、7・・・発生した光パルス、8・・・ハーフミラー、9・・・ミラー、10・・・偏光板、11・・・ $\lambda/2$ 板、12・・・複屈折ファイバ、13・・・応力付加装置。

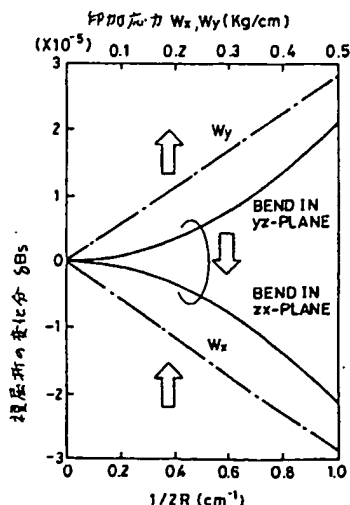
特許出願人 日本電信電話株式会社

代理人 山川政樹 (ほか1名)

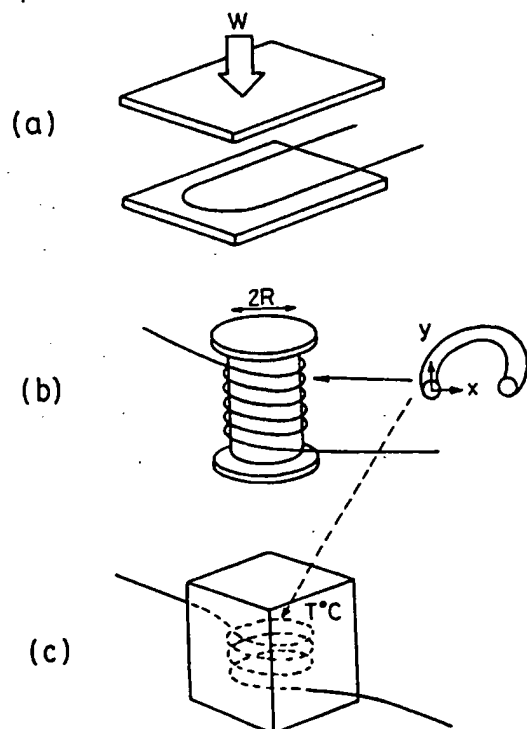
第1図



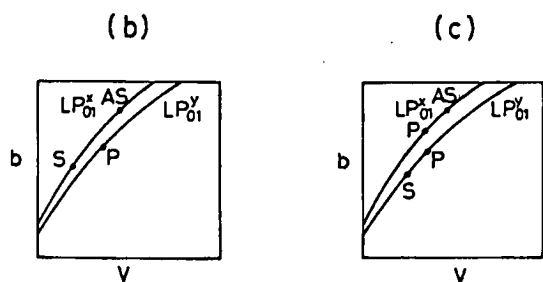
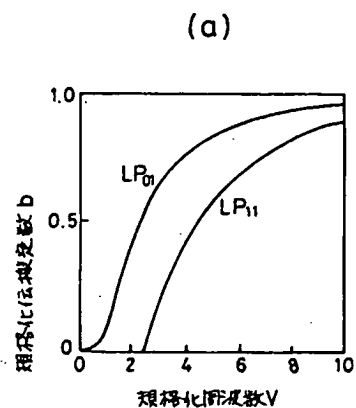
第3図



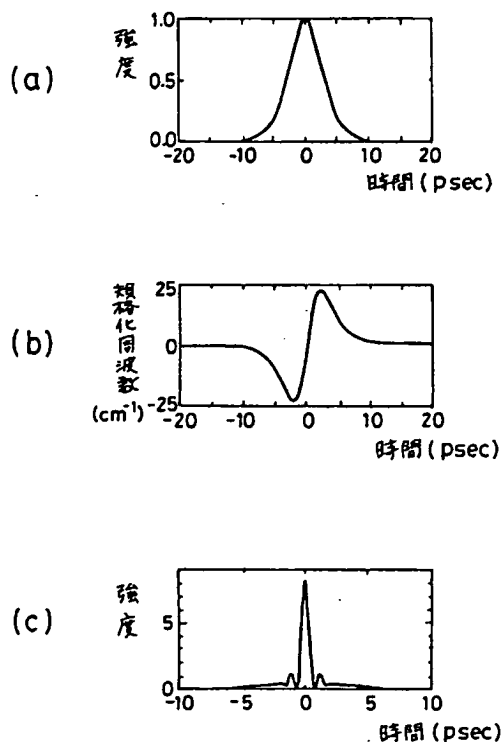
第2図



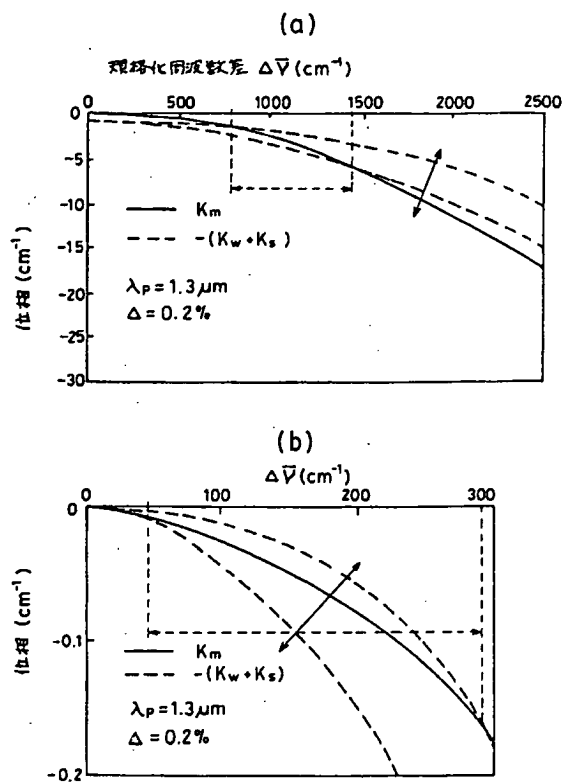
第 4 図



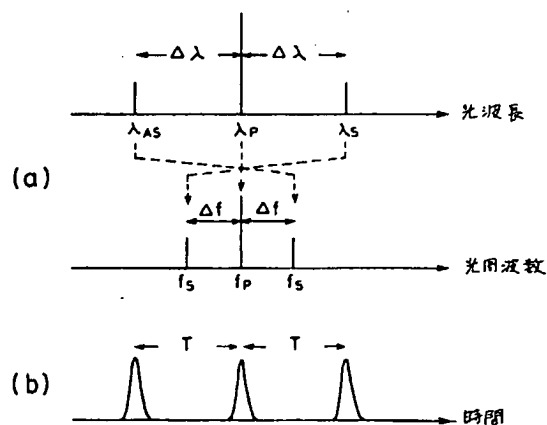
第 6 図



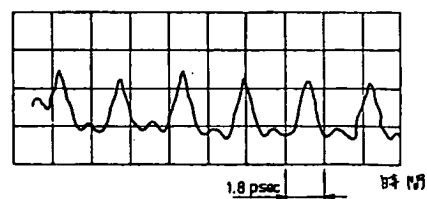
第 5 図



第 7 図

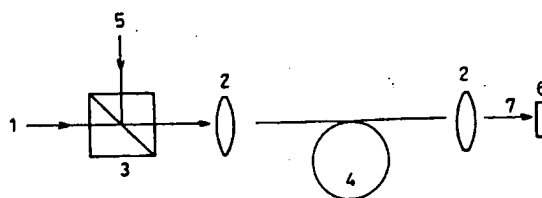


第 8 図





第 9 図



第 10 図

